

3 章 大村湾の水環境

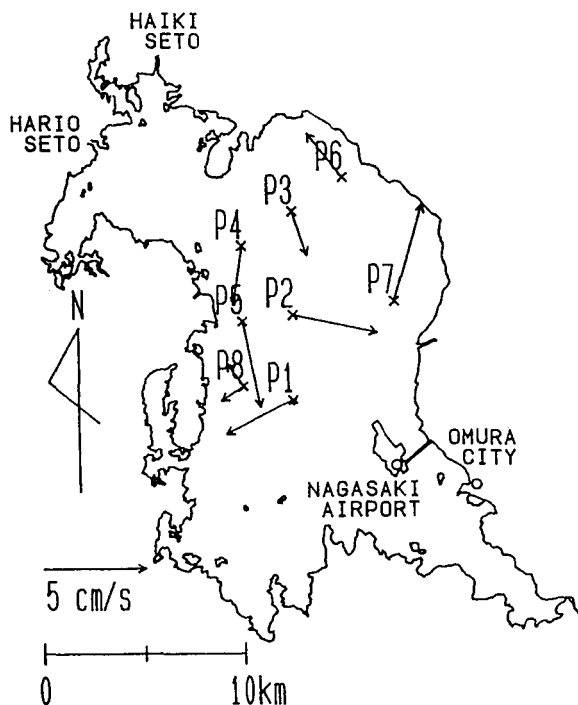
中村 武弘

まえがき

大村湾は、長崎県の中央部に位置する水表面積約330km²、平均水深約16mのきわめて閉鎖性の強い内湾である(図一1)。湾口は針尾瀬戸(幅約200m:西海橋下)と早岐瀬戸(幅約25m:観潮橋下)の2カ所があるが、海水の流出入のほとんどは針尾瀬戸を通じて行われている。湾内の平均潮差は約50cmであるので、1潮汐当りに流出入する海水量は約1.65億m³となり全湾水量の約1/32にすぎない。そのため、潮汐による流れは湾口付近では強いものの、湾中央より奥では非常に弱く、湾奥では風によって引き起こされる流れのほうが潮流流よりも強い。すなわち、大村湾は海湾ではあるが、その閉鎖性により湖としての性格を合わせ持ち、海水の動きは非常に複雑である。この様な大村湾の海水が、一旦汚染されるとその回復が容易でないことは言うまでもない。大村湾の水質が、年々悪化してきていることは周知の事実であり、環境問題としても取り上げられ、最近では“大村湾をきれいにする運動”なども展開されている。また、近年における大村湾周辺域の開発は、大村湾に対する汚濁負荷につながる危険性をはらんでおり、大村湾の水質の現況や湾内の潮流を把握しておく必要がある。大村湾の水質や潮流に関する調査・研究は古くは長崎海洋気象台に始まり、長崎県水産試験場、長崎県保健環境部、長崎大学水産学部などによって続けられている。著者らも昭和50年以来、大村湾における潮流に関する調査・研究を続けている。本論では、これらの調査・研究の成果をもとに、大村湾の水環境について述べる。

1 節 水 質

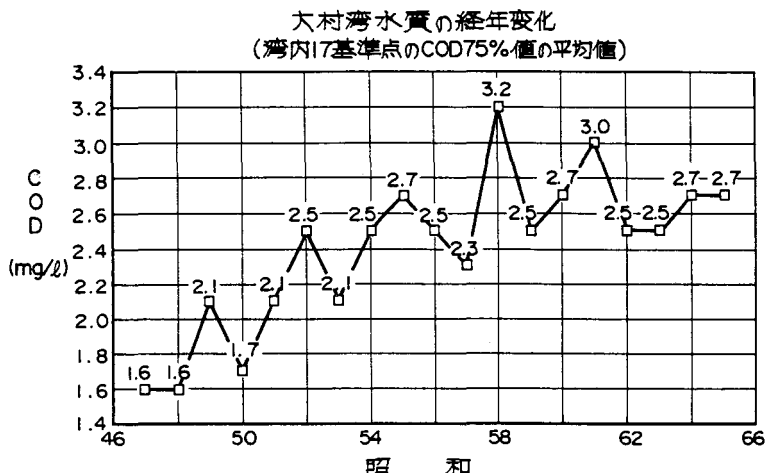
大村湾は昭和49年6月に環境基準の水域類型が海域A類型に指定された。海域A類型とはCODについては2ppm以下、DOについては7.5ppm以上など



図一 大村湾（観測地点と恒流）

の基準値が定められている。長崎県保健環境部では昭和46年から水質汚濁の状況を把握するため、大村湾内の17地点で水質調査を実施している。この調査結果^{1)・2)・3)}によると、大村湾の水質は昭和46年度には各地点のCOD年平均値は1.6ppmであったものが、徐々にではあるが、年々悪化の傾向を示し、昭和56年度には、年平均値が2.1ppmとなり環境基準を突破した。また、昭和51年度以降は全環境基準点で基準を超過する状態になり、最近では3ppmを超える状態も出現している。図一2⁴⁾は、これらの観測値をもとに、大村湾のCOD75%値の経年変化をグラフに示したものであり、以上の様子をよく表している。水質をCOD値だけで論ずるのは問題もあるが、透明度も低下の傾向を示し、また植物プランクトンによる判定³⁾でも富栄養化の傾向が出ていることからして、水質が悪化していることは明らかと思われる。また、大村湾には24水系51河川が流入しているが、長崎県環境部の汚濁負荷量調査¹⁾より、富栄養化

3 章 大村湾の水環境

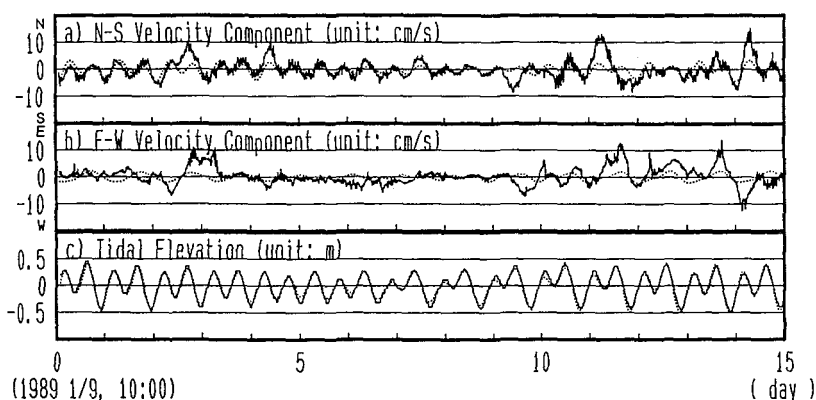


図一 2 COD75%値の経年変化 (長崎県企画部他⁴⁾, 1992, より)

の原因となる汚濁負荷量の70～80％は生活排水によることも明らかになっている。他方、前述の水質汚濁が問題となる以前より、大村湾は赤潮や底層水の無酸素化現象が発生する内湾として知られており、長崎海洋气象台⁵⁾、長崎大学水産学部⁶⁾や長崎県水産試験場⁷⁾は永年にわたり大村湾のプランクトンや水生生物などに関する研究を通して水質に関する調査・研究を行ってきている。それによると、大村湾では毎年夏季には無酸素水塊が出現しており、無酸素水塊は底生生物に破壊的な打撃を与え、これが大村湾の低生産性と関係しており、発生域は湾中央部から湾西寄りの水深20m前後の底層と考えられている。また、無酸素水塊は大規模な赤潮が発生する原因の一つとして上げられ、無酸素水域の発生は夏季に形成される成層と関係があると考えられている。しかし、大村湾における海水の富栄養化、無酸素水塊の形成ならびに赤潮発生メカニズムはまだ解明されておらず、大村湾の閉鎖性、水深が浅いことなど大村湾自体の湾型が大きく関係していると考えられている。

2 節 潮 位⁸⁾

図一 1 中の P 1 地点での潮流と潮位の現地観測記録の一例を図一 3 に実線で示す。図一 3 c) は潮位変動の記録である。この潮位変動の記録を F F T 法を

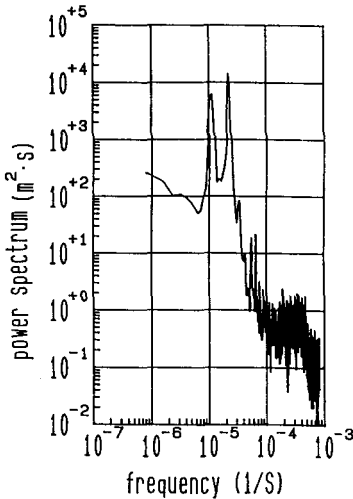


図一 3 潮流と潮位の現地観測記録 (P 1 地点)

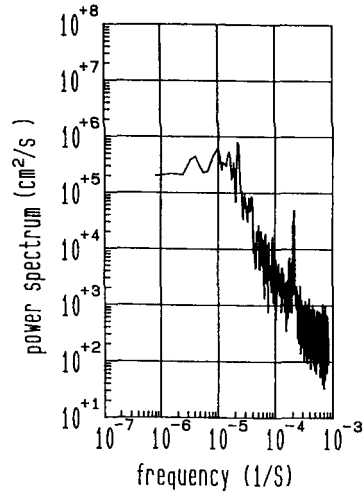
用いてスペクトル解析した結果を図一 4 に示す。パワースペクトルには周波数 $1.1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ と $2.3 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ 付近に大きなピークが見られる。これらはそれぞれ周期にして 12 時間と 24 時間であり、潮汐の半日周潮と日周潮に対応している。潮汐とは月や太陽によって引き起こされる海水の波動現象である。そこで潮位変動の記録を調和解析し、潮汐の主要 4 分潮 (M_2 , S_2 , K_1 , O_1) の成分を求めた。それによると、大村湾の潮汐の平均潮差 (M_2 潮差) は 48 cm と非常に小さく、佐世保湾の約 $1/3$ である。続いて、解析より得られた主要 4 分潮の潮汐常数を用いて潮位を再現し、図一 3 c) 中に点線で示した。点線は実線と良く一致しており、大村湾における潮位の変動は、潮汐の主要 4 分潮だけでほぼ説明できることがわかる。その他の振動成分として、図一 4 には小さなピークしか現れていないが、大村湾では周期が 25~80 分 (周波数 $6 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$) の潮位の変動が見られることがある (図一 5 参照)。この変動は湖で観測される「静振」と呼ばれる振動現象と同じものである。

3 節 潮 流⁸⁾

図一 3 a), b) は潮流の現地観測記録の一例であり、それぞれ P 1 地点での南北および東西方向の流速成分を示している。観測水深は水底上 5 m の位置である。記録を見ると、いろいろな周期の変動成分が含まれていることがわ



図—4 潮位変動のパワースペクトル
(P1地点)



図—5 流速のパワースペクトル
(P1地点, 南北成分)

かる。そこで、潮流の記録の解析は次の順序で行った。まず、観測期間中の平均流の成分（恒流）と変動成分とに分けた。つぎに、変動成分については、FFT法によるスペクトル解析を行い、周波数特性を調べた。流速記録（図—3 a）のパワースペクトルを図—5に示す。パワースペクトルには、潮汐流の周期に対応する12時間と24時間付近にピークが見られるが、潮位の場合（図—4）のように明瞭ではない。これは、流れの成因が潮汐の他にも存在することを示している。そこで、変動成分については、さらに潮汐流の成分と残りの成分（残差流）とに分解し、残差流については風との関連で考察した。以下では、各成分別に恒流、潮汐流および残差流について述べる。

1. 恒 流

恒流は湾内においては湾流、還流などとも呼ばれ、海水の定常的な流れの成分を意味し、湾内の長期的な水質汚濁予測のために重要である。ここでは、著者らの研究室で行った湾内8地点での15日間連続観測より得られた各観測点の恒流をまとめて図—1に示す。観測期間中の流速変動の平均値による流れを恒流（ M_0 ）とした。図—1より、湾北部には反時計廻りの恒流が存在し、中央

部では逆向きとなっていることがわかる。図一1の恒流は、これまでに観測されている結果⁹⁾とよく一致している。

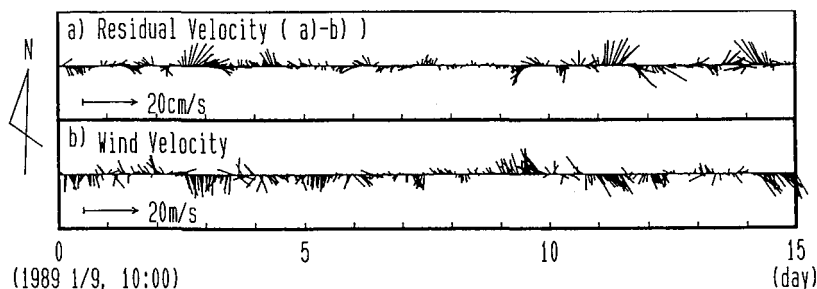
2. 潮 汐 流

潮汐流の解析は、潮位変動の場合と同様に、図一3 a), b) に示される流速の南北および東西方向の成分の各々について調和解析し、得られた潮汐流の主要4分潮の成分と恒流成分を合成して得られる潮汐流の値を同図中に点線で示した。合成値(潮汐流)は観測値とおおまかな傾向は似ているものの、良い一致は得られず、潮汐流だけでは観測値を説明できないことがわかる。このことは、図一3 c) の潮位変動が主要4分潮ではば表現できたことと対照的である。

3. 残 差 流

前述のように、流速の観測値は潮汐流だけでは説明できないことが明らかとなった。いま、観測値から潮汐流の成分(恒流成分と主要4分潮の成分の合成値)を差し引いた残りの成分を「残差流」と呼ぶことにする。すなわち、P1地点の残差流は図一3 a), b) の各々について、実線から点線の値を差し引いたものである。残差流を時間軸を始点とするベクトルで表示すると図一6 a) のようになる。ただし、データ間隔は1時間である。

ここでは、残差流の原因として風を考え、残差流と風との相関関係を調べた結果を示す。観測期間中に長崎海洋気象台長崎空港出張所で観測された風の記録を図一6 b) に示す。風速は10分間平均値である。いま、風速が大きく、風向も一定しているとき(例えば3日目, 9~10日目, 11~12日目, 14~15日目



図一6 残差流と風速のベクトル表示 (P1地点)

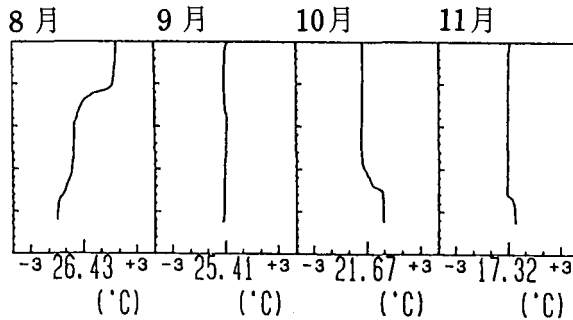
など)の残差流のベクトルをみると、どの場合も、絶対値が大きく、流向は風の方角(風の進む方向)に対して時計廻りに 180° より大きい角度になっており、風と残差流には相関があるように思われる。そこで、全観測記録について、残差流と風との相関を調べた結果、風が長い時間一定方向に吹き続けているとき、大村湾の底層部における残差流は風速に対して、遅れ時間約3時間で応答し、風の方向に対して時計廻りに約 240° の方向に流れていることが明らかになった。

近年、コンピューターの発達が著しく、計算速度が速くなり、計算容量も増大したため、海洋の流れを3次元的に数値解析することも可能となってきた。著者ら¹⁰⁾も大村湾における風に起因する流れを数値解析し、これらの現地観測の結果とほぼ一致する結果を得ている。

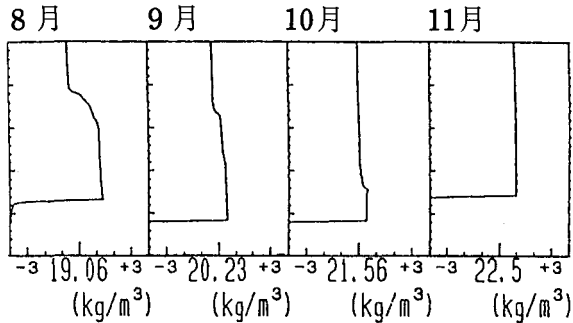
4 節 成 層

P1地点における、1991年の8月から11月までの1ヶ月ごとの水温ならびに密度の鉛直分布を図一7 a), b)に示す。8月の分布を見ると、水深6 m付近で水温、密度ともに値が急変していることがわかる。このような急変部分を躍層といい、このような分布の状態を成層(状態)という。大村湾では、3~4月に躍層が形成されはじめ、7~8月に成層が最も強く、10~11月頃になくなる。いったん成層が形成されると、上層水と下層水は混合できなくなり、下層水の水質が悪化し、無酸素水塊が発生し易くなると考えられている。そして、成層状態は台風のような強い外乱がないかぎり、10月頃までは消滅しない。また、成層期特有の現象として、躍層が振動を起こすことがある。これは、海表面の「静振」現象と類似のものであり、「内部静振」と呼ばれる。この現象の特徴は、振幅が大きく、周期が非常に長いことである。筆者らは、周期約20時間の内部静振を観測している。

前節で示した現地観測および数値計算の結果は、冬季(非成層期)のものであった、成層期の海水の流れは非成層期とは異なるであろう。成層期の現地観測ならびに数値計算は現在解析中である。



図一7 a) 水温の鉛直分布 (P1 地点)

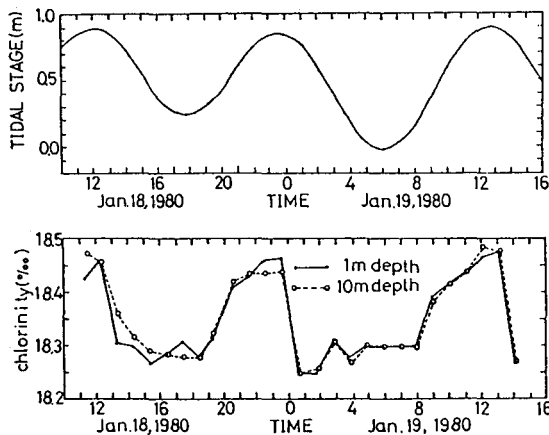


図一7 b) 密度の鉛直分布 (P1 地点)

5 節 海水交換^{11), 12)}

前述のとおり、大村湾では湾口を通じて1潮汐当たり平均的に1.65億 m^3 の海水が流入しており、そのほとんどは針尾瀬戸を通して行われている。上げ潮時に流入した海水は湾内水と混合し、下げ潮時にはその一部を湾内水と交換して流出する。すなわち、潮汐は湾内水の浄化に（ただし、湾外にとっては汚濁に）役立っている。ここで、海水交換が行われていることを示す現地観測の結果の一例を図一8に示す。西海橋の下で、1時間おきに32時間にわたって塩素量を測定した観測結果である。これより、上げ潮時に塩分濃度の濃い外海水が流入し、下げ潮時には湾内水と混合し、塩分濃度が薄くなって流出しており、海水の交換が行われていることがわかる。海水の交換する割合を示す概念として海水交換率がある。海水交換率にはその測定方法とも関連していくつか提案

されているが、ここでは柏井の定義した海水交換率 r_c について述べる。海水交換率 r_c は「1 潮汐あたりに湾口を流出入する海水量 (Q_F) のうち実質的に湾内水と湾外水が交換する量 (q) の占める割合」と定義され、この r_c を用いると、置換時間 τ (湾内水の濃度が $1/e$ になるのに要する時間) は、 $\tau = V / r_c Q_F$ で求められる。ここに、 V は湾水量、 $e \approx 2.72$ である。実験および観測により、大村湾の海水交換率 r_c の値は約10%が得られている。大村湾では $V = 5.28 \times 10^9 \text{ m}^3$ 、 $Q_F = 1.65 \times 10^8 \text{ m}^3 / \text{潮汐}$ であるから、置換時間 τ は約237潮汐 (約5.8カ月) となる。東京湾や伊勢湾で1～3カ月といわれていることと比較して、大村湾がいかに閉鎖的内湾であるかがよくわかる。



図—8 潮位 (大村湾) と塩素量 (西海橋下) の変動

あとがき

大村湾は閉鎖的湾型のため潮汐の流出入する海湾ではあるが湖の特性を合わせ持ち、海水の流動は非常に複雑である。冬季における流況はほぼ明らかになったと思われるが、夏季 (成層時) の流況はまだ不明の点が多い。また、大村湾における無酸素水塊の形成ならびに赤潮発生のメカニズムも明らかになっていない。大村湾の潮汐による海水の交換能力は非常に低く、水質保全のためには、汚濁負荷を減らすことが第一である。大村湾は、佐世保湾を介して外海と結ばれている。したがって、大村湾の水環境を考えると、本論では触れな

かったが、佐世保湾を含めて総合的に考えることも必要である。

参 考 文 献

- 1) 長崎県水質審議会・長崎県環境部：大村湾水質汚濁対策基本計画，pp.175, 1981.
- 2) 長崎県衛生公害研究所：大村湾水質モニター測定結果報告書，pp.110, 1988.
- 3) 長崎県衛生公害研究所：大村湾内部生産水質影響調査結果報告書，pp. 170, 1991.
- 4) 長崎県企画部・㈱電発環境緑化センター：大村湾の浄化対策に関する調査報告書，pp. 12, 1992.
- 5) 辻田時美：Silicoflagellata による大村湾の赤潮，長崎海洋気象台報告，No.2，pp. 18—29, 1949.
- 6) 飯塚昭二・関露虹：大村湾における無酸素水塊の形成，沿岸海洋研究ノート，第26巻，第2号，pp. 75—86, 1989.
- 7) 玉河道徳：夏季大村湾の底層低酸素水塊の分布に及ぼす風の影響，長崎県水産試験場研究報告，第6号，pp. 29—35, 1980.
- 8) 中村武弘・富樫宏由・飯塚昭二・三厨晋也・石原洋：大村湾の潮流に関する研究(2)，長崎大学工学部研究報告，第21巻，第37号，pp. 167—177, 1991.
- 9) 中村武弘・富樫宏由・田中清裕：大村湾の潮汐水理模型実験による水質汚濁予測に関する研究（第2報），第25回海岸工学講演会論文集，pp. 552—555, 1978.
- 10) 中村武弘・富樫宏由・飯塚昭二・小田秀人・三厨晋也：大村湾の潮流に関する研究(3)，長崎大学工学部研究報告，第21巻，第37号，pp. 179—187, 1991.
- 11) 中村武弘・富樫宏由：海水交換率による大村湾の水質汚濁予測に関する研究，第27回海岸工学講演会論文集，pp. 487—491, 1980.